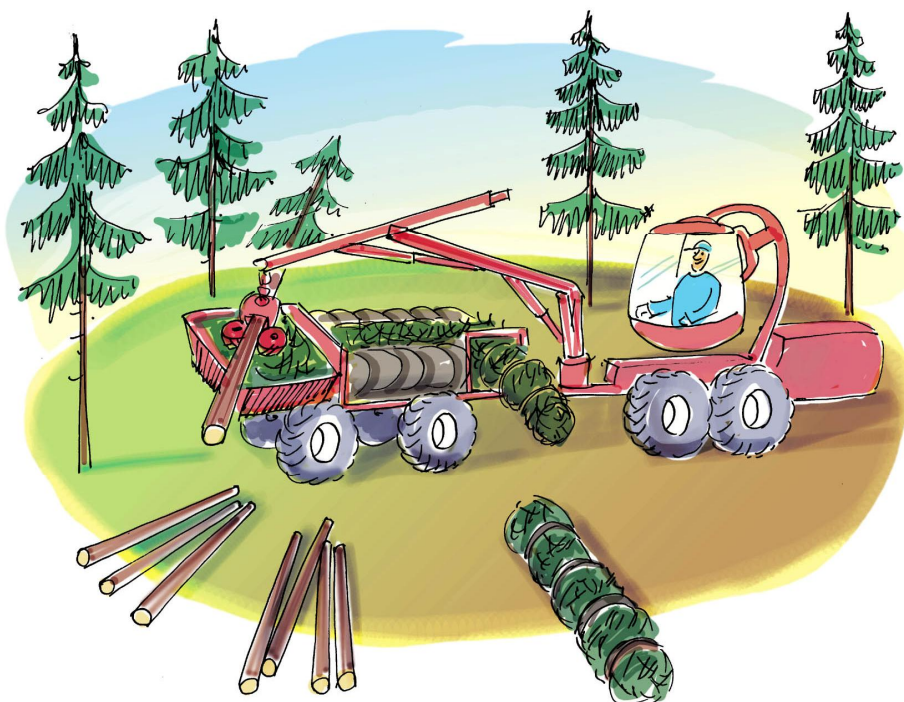


GROT & gagnvirkeskördaren

– analys av ett framtida koncept för bättre lönsamhet
vid GROT-skörd

Dan Glöde



Omslag: GROT & gagnvirkesskördare i arbete. **Illustratör:** Anna Marconi
Ämnesord: GROT, trädrester, komprimering, skörd, slutavverkning.

SkogForsk – Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut

SkogForsk arbetar för ett långsiktigt, lönsamt skogsbruk på ekologisk grund. Bakom SkogForsk står skogsbolag, skogsägareföreningar, stift, gods, allmänningar, plant-skolor, SkogsMaskinFöretagarna m.fl., som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som av-
verkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

SkogForsk arbetar med forskning och utveckling med fokus på fyra centrala frågeställningar: Produktvärde och produktionseffektivitet, Miljöanpassat skogsbruk, Nya organisationsstrukturer samt Skogsodlingsmaterial. På de områden där SkogForsk har särskild kompetens utförs även i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Serien *Arbetsrapport* dokumenterar långliggande försök samt inventeringar, studier m.m. och distribueras enbart efter särskild beställning.

Forsknings- och försöksresultat från SkogForsk publiceras i följande serier:

SkogForsk-Nytt: Nyheter, sammanfattningar, översikter.

Resultat: Slutsatser och rekommendationer i lättillgänglig form.

Redogörelse: Utförlig redovisning av genomfört forskningsarbete.

Report: Vetenskapligt inriktad serie (på engelska).

Handledningar: Anvisningar för hur olika arbeten lämpligen utförs.

Innehåll

Sammanfattning.....	3
Inledning	4
Material och metod	7
System, typbestånd, kostnader och prestationer.....	7
Flyttkostnader.....	9
Beståndsförutsättningar och prestation.....	9
Resultat.....	11
Utrymme för integrerad skörd.....	11
Utrymmet räknat på avverkningskostnaden för gagnvirket	11
Utrymmet i maskinkostnad och prestation vid gagnvirkesskörden	12
Utrymmet räknat i sekunder per träd	13
Maximal produktion av buntar i typbeståndet	14
Känslighetsanalys.....	14
Diskussion.....	18
Slutsatser	20
Referenser	21

Sammanfattning

Analysen prövar om det finns ett ekonomiskt utrymme för det tänkta systemet integrerad skörd jämfört med: (i) det i södra och mellersta Sverige volymmässigt dominerande systemet med bränsleanpassad avverkning, skotning till välta, flisning vid avlägg och vidaretransport med containerbil (flissystemet); (ii) det mer framtidsinriktade systemet med bränsleanpassad avverkning, buntning på hygget, skotning till avlägg och vidaretransport med rundvirkesbil (buntsystemet).

Vid integrerad skörd produceras GROT-buntar vid ordinarie avverkning, t.ex. genom kvistning ovan ett komprimeringsaggregat monterat på skördaren. Buntarna matas ut automatiskt och skotas tillsammans med rundvirket till avlägg samt körs till industri på rundvirkesfordon. Buntarna förutsätts vara 3 m långa, ha diametern 70 cm och ge 1,4 m³s flis. Hypotesen är att kostnaderna för skogsbränslet kan sänkas dels genom att kvistarna fångas upp innan de faller till marken vilket spar hanteringstid dels genom att två maskiner (flisare eller buntare och efterföljande skyttel eller skotare) ersätts med en maskin, vilket spar maskin-, arbetskraft- och flyttkostnader.

Analysen bygger på ett break-even resonemang, d.v.s. om de redovisade utrymmena tas i anspråk, kommer kostnaden för integrerad skörd att vara lika stor som för jämförelseobjekten. GROT skördas vid avverkning, d.v.s. grön inkl. barr. Detta förutsätts acceptabelt och uthålligt från miljö- och skogsproduktionssynpunkt. Konceptet baseras på att det finns en marknad för grön GROT, eller att man kan lagra och torka balarna. Jämfört med konventionellt skogsbränsle kommer de integrerade buntarna att vara homogenera, renare från föroreningar (grus, sten) och ha högre fukthalt, kväveinnehåll och andel finfraktion.

Analysen visar att det finns ett utrymme för system integrerad skörd jämfört med bunt- och flissystemet. Vid en stamvolym på 0,21 respektive 0,84 m³fub får komprimeringsaggregatet påverka skördaren så att den ökar sin tid, d.v.s. sänker sin prestation, per avverkat träd med 10 respektive 17 sekunder jämfört med flissystemet och med 6 respektive 11 sekunder jämfört med buntsystemet. Förutsättningen är att maskinkostnaden inte ökar mer än 265 respektive 445 kr/G₁₅-h. Vid 1 500 utnyttjade timmar per år motsvarar det i en maskinkostnadskalkyl en investering på ca 1 till 1,5 miljoner kr inklusive övriga kostnadsposter. Blir prestationen lägre ökar investeringsutrymmet eller möjligheten att sänka systemkostnaderna.

Slutsatsen av analysen är att kostnaderna för skogsbränslet kan sänkas genom att utveckla en GROT & gagnvirkesskördare genom att införa system integrerad skörd. Om skördarens prestation, med avseende på rundvirkes-skörden, inte påverkas kan systemkostnaden sänkas med 4 till 20 kr/m³s jämfört med buntsystemet vid 1 500 utnyttjade timmar per år och en investering på ca 1 till 1,5 miljoner kr. Det motsvarar en bränslekostnad fritt industri på 69,7 till 85,7 kr/m³s vid 6 mils transportavstånd eller en sänkning på 22 till 36 % av systemkostnaden jämfört med flissystemet.

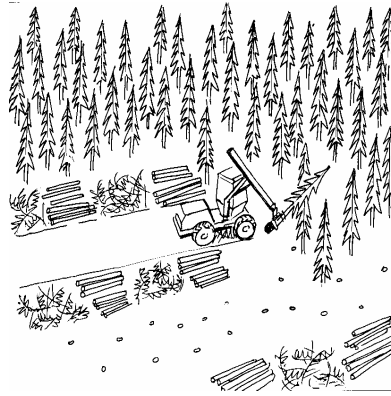
Inledning

Det dominerande skogsbränslesortimentet som eldas i värmeverk och kraftvärmeverk är grenar och toppar (GROT) insamlade vid slutavverkning (Anon. 1997). Dessa flisas antingen vid hygget eller transporteras i bulkfordon direkt till förbrukare eller terminal för sönderdelning. Brunberg m.fl. (1998) bedömer att GROT tas ut på nästan en tredjedel av den årliga slutavverkningsarealen i landet. Filipsson (1998) redovisar att av det totala antalet hyggen i slutavverkning skördas GROT på 56 % i södra, 11 % i mellersta och 5 % i norra Sverige. Vidare att ungefär 72 % av den totala volymen GROT som togs om hand efter slutavverkning skördades i södra Sverige (3 164 GWh).

Teknik- och metodutvecklingen samt effektiviseringar i logistikkedjan för de etablerade skogsbränslesystemen har under ett antal år varit begränsade. Filipsson (1998) visade att 61 % respektive 66 % av volymen GROT i södra och mellersta Sverige skotades till välta efter slutavverkning, mellanlagrades och sönderdelades före vidaretransport med containerfordon. Ytterligare 21 % respektive 13 % av volymen GROT i södra och mellersta Sverige vidaretransporterades med containerfordon men flisades på hygget. I norra Sverige däremot, skotades 75 % av volymen GROT till vältor före vidaretransport med GROT-fordon och efterföljande sönderdelning vid terminal.

Komprimering av GROT fick ett teknikgenombrott i och med att Bala Press AB tillsammans med Trädenergi Väst AB utvecklade en mobil enhet för komprimering av GROT till ”rundbalar”. Balarna möjliggjorde effektiviseringar i kedjan från skog till förbrukare (Andersson & Nordén 1996). De passar dock genom sin form dåligt in i de terräng- och vägtransportsystem som används i skogsbruket. Under 1998 introducerades ny teknik för komprimering av GROT till stockliknande buntar. Företagen Woodpack AB och Fiberpac AB har utvecklat två olika aggregat för komprimering av GROT (Andersson & Nordén 1999). I bägge fallen används skotare som basmaskin. Woodpacks aggregat toppmatas och komprimerar GROT genom ett antal 3 m långa roterande valsar (cigarettrullningsteknik) en ca 3 m lång GROT-bunt med diametern 0,7 m. Fiberpacs aggregat matas från sidan där fyra grovt tandade rullar trycker in GROT i en trattformad kammare. Genom stegmatning trycks materialet vidare in i nästa komprimeringskammare så att en ändlös bunt med diametern 0,7 m skapas. Buntens längd skapas med kedjesåg i ca 3 m längder. I bägge fallen hålls buntarna ihop genom att ett snöre viras runt dem. Buntarna terrängtransporteras med skotare och vidaretransporteras med rundvirkesfordon.

Avverkningen anpassas så att GROT kan tas ut på ett effektivt sätt. Anpassningen innebär att skördarföraren, där markförhållandena tillåter, undviker att köra på trädresterna och lägger upp arbetet så att dessa samlas i högar invid körstråket (figur 1).



Figur 1.
Arbetsmönster vid anpassad
avverkning hos SCA Skog AB
(Brunberg m.fl. 1998).

Den bränsleanpassade metoden för engreppsskördare orsakar en försämrad produktivitet på ca 5–7 % i slutavverkningar vid en medelstamvolym på 0,2 – 0,6 m³fub (Hörnlund 1996, Hofsten & Nordén 1997, Thor & Nordén 1997). Produktivitetssänkningen var mindre i de grova bestånden än i de klena. Brunberg m.fl. (1998) menar att resultaten är logiska eftersom kranrörelserna blir längre i den anpassade metoden. Aggregatet förflyttas från stubben framför maskinen till sidan för upparbetning, sedan fram igen (figur 1). Varje träd belastas med ett litet tidstillägg, vilket slår igenom hårdast på prestationen för träd med liten volym.

Thor & Nordén (1997) visade att prestationen vid skotning av trädrester efter anpassad avverkning var 33 % högre (12,8 råton/G₀-h) än då ingen anpassning gjorts vid avverkningen (9,6 råton/G₀-h). Resultaten ligger i nivå med de 10,5 råton per G₁₅-h vid skotning av trädrester efter bränsleanpassad avverkning som redovisas av Brunberg & Nordén (1994).

Brunberg m.fl. (1998) jämförde teoretiskt tre olika bränslesortiment och drivningssystem av GROT efter slutavverkning (tabell 1).

Tabell 1.
System i slutavverkning. (Brunberg m.fl. 1998).

Flis	Trädrester	Balar
Engreppsskördare	Engreppsskördare	Engreppsskördare
Skotare	Skotare	Skotare
Trädrestskotare	Trädrestskotare	Balare
Flisare avlägg	Trädrestfordon	Balskotare
Containerfordon	Flisare förbrukningsplats	Styckegodsfordon Flisare förbruknings- plats

Slutsatsen blev att den totala kostnaden var högst i systemet Flis med sönderdelning vid avlägg och vidaretransport med containerfordon 98–108 kr per m³s, jämfört med systemen Trädrester och Balar som kostade 90–100 respektive 91–101 kr per m³s (fritt industri 60 km transportavstånd).

Nästa steg i utvecklingen av GROT-hantering kan vara att integrera den med avverkningsarbetet. Om komprimerade GROT-buntar kan produceras av skördaren redan vid avverkningstillfället kan specialmaskiner och extra skotare rationaliseras bort och kostnaderna sänkas.

Lönsamheten är dock låg i produktionsledet och intäkterna som markägaren får är relativt små (Brunberg m.fl. 1998). Om antalet förbrukare av skogsbränsle skall kunna öka samtidigt som bränslet skall bära kostnaden för den askåterföring som rekommenderas (Anon. 1999), måste skogsbränslesystemet effektiviseras och utvecklas.

Analysen syftar till att undersöka om det finns ett ekonomiskt utrymme för det tänkta systemet integrerad skörd jämfört med: (i) det i södra och mellersta Sverige volymmässigt dominerande systemet med bränsleanpassad avverkning, skotning till välta, flisning vid avlägg och vidaretransport med containerbil (flissystemet); (ii) det mer framtidsinriktade systemet med bränsleanpassad avverkning, buntning på hygget, skotning till avlägg och vidaretransport med rundvirkesbil (buntsystemet). Tanken med integrerad skörd är att GROT-buntarna produceras av engreppsskördaren vid ordinarie avverkningstillfälle. Till exempel genom kvistning ovanför en tratt på ett komprimeringsaggregat, monterat på eller i anslutning till skördaren, som sedan oberoende av avverkningsarbetet producerar GROT-buntar. GROT kan på så sätt tas tillvara på varje eller valda träd beroende på t.ex. miljökrav och komprimeringsaggregatets prestanda. Buntarna matas ut automatiskt och skotas tillsammans med rundvirket till avlägg samt körs till industri med konventionella rundvirkesfordon.

Hypotesen är att kostnaderna för skogsbränslet kan sänkas dels genom att kvistarna fångas upp innan de faller till marken vilket spar hanteringstid, dels genom att två maskiner (flisare eller buntsskördare och efterföljande skyttel eller skotare) ersätts med en maskin, vilket spar maskin-, arbetskraft- och flyttkostnader.

Material och metod

System, typbestånd, kostnader och prestationer

Kostnaderna för flis- och buntsystemen skattas utifrån litteraturen. Med hjälp av litteraturen görs också en skattning av kostnaderna för alla operationer utom för själva skörden i system integrerad skörd. Differensen mellan kostnaden vid industri per m³ skogsbränsle efter integrerad skörd jämfört med flis- respektive buntsystemet definieras som det ekonomiska utrymmet för integrerad skörd.

Vid integrerad skörd förutsätts att GROT-buntar produceras av engreppsskördaren vid ordinarie avverkningstillfälle. Inga tekniska aspekter på det tänkta komprimeringsaggregatet utreds eller diskuteras. Buntan förutsätts vara kompakt och ca 3 m lång med en diameter på ca 70 cm och innehålla GROT motsvarande 1,4 m³s flisat enligt Andersson & Nordén (1999).

Typbestånd är hämtat från AssiDomän Skog&Trä, Värnamo skogsförvaltning och utgör tillsammans med gällande marknadspriser grund för beräkning av prestationer och kostnader för flissystemet (Brunberg m.fl. 1998) (tabell 2 och 3). Data för buntsystemet är valt utifrån Andersson & Nordén (1999) (tabell 3), förutom kostnaden för skotning som räknats om till att gälla för en stor (17-tons) skotare, enligt följande. Andersson & Nordéns (1999) kran-cykeltid (57 cmin/bunt) multiplicerades med en större lastkapacitet (25 buntar/lass), vilket gav en krantid på 14,25 min per lass. Körhastigheten sattes till 50 m/min, vilket vid 300 m köravstånd gav en körtid på 12 min/lass. Totalt gav det en tid per lass på 26,25 min och en prestation som avrundades till 60 buntar per G₀-h. Med ett omräkningstal på 0,78 mellan studietid och praktisk drift räknades prestationen om till 46,8 buntar per G₁₅-h.

Buntsystemet antas ha den utformning som Andersson & Nordén (1999) studerade. Teoretiskt skulle dock en buntare typen Fiberpac eller Woodpack kunna arbeta direkt efter en skördare. Skotning av buntar och rundvirke skulle då kunna göras av samma maskin. Men detta arbetssätt har på grund av maskinernas olika arbetstakt bedömts som svårt att få att fungera, även med ett samägande av skotare, skördare och buntare. Därför tas ingen hänsyn till denna rationaliseringspotential i buntsystemet.

För flissystemet antar Brunberg m.fl. (1998) att hälften av barrmassan blir kvar på hygget efter ett par månaders lagring och efterföljande utskotning samt att den genomsnittliga torr-rådensiteten är 470 kg per m³f. Dessutom att ca 10 % av grenvolymen blir kvar i form av spill. Detta gäller även för buntsystemet eftersom båda systemen bygger på att GROT samlas i högar på hygget efter bränsleanpassad avverkning.

Tabell 2.
Bestånds- och sortimentsdata.

Beståndsdata	
Aritmetisk medeldiameter, cm	22,9
Grundtyevägd medeldiameter, cm	27,2
Volym per ha, m ³ sk	274
Trädslagsblandning, %	09,86.05
Medelstamvolym, m ³ fub	0,389
Stamantal per ha	593
Sortimentsdata	
Timmer, m ³ fub/ha	168,8
Massaved, m ³ fub/ha	61,9
Skogsbränsle, m ³ biomassa/ha	73,0

Tabell 3.
Maskinkostnader i slutavverkning, kr/G₁₅-timme, inkl. markarbete, resekostnader och administration och prestationer i typbeståndet (Brunberg m.fl.1998). Prestation och kostnad för buntare enligt Andersson & Nordén (1999), samt skattad prestation för skotning av buntar.

Maskin och system	Kostnad, kr/G ₁₅ -h	Prestation per G ₁₅ -h
<i>Avverkning, flis- och buntsystemet</i>		
Stor engreppsskördare	841	22,3 (57 träd)
Skotare 17 ton	555	20,6 m ³ fub
<i>Flissystemet</i>		
Skotare (Trädrester)	557	27,9 m ³ s
Flisare avlägg	971	29,4 m ³ s
<i>Buntsystemet</i>		
Buntare typ Woodpac / Fiberpac	840	25 buntar
Skotare (Buntar)	555	46,8 buntar
Flisare vid förbrukningsplats	1 545	128,8 – 171,7 m ³ s

Tabell 2 och 3 ger underlag för en beräkning av bränslekostnaden per operation för flis- och buntsystemen.

Följande antaganden har gjorts för system integrerad skörd:

Skotning: Maskinkostnad och prestation blir i nivå med det beräknade exemplet för skotning av buntar (tabell 3).

Täckning: Kostnaderna för täckning av buntar lagrade i välta blir i nivå med Fiberpac producerade buntar (Andersson & Nordén 1999).

Lagring: Lagringskostnaden antas vara samma som vid lagring av rundbalar (Andersson & Nordén 1996).

Arbetsledning / administration: Eftersom två maskiner (trädresterkotare och flisare eller buntare och skotare) och minst lika många förare försvinner vid integrerad skörd minskar kostnaderna för arbetsledning och administration med 2 kr/m³s.

Ersättning till markägare: Anges av Brunberg m.fl. (1998) till intervallet 5-15 kr/m³s och antas i denna analys vara 10 kr/m³s.

Transport 60 km: Kostnaderna antas bli i nivå med studier (Andersson & Nordén 1999) av vidaretransport av buntar på konventionella virkesfordon.

Adm. Vinst/Risk: Antas vara densamma som i Brunberg m.fl. (1998).

Sönderdelning: Sönderdelning förutsätts ske vid förbrukare till en kostnad i nivå med av flisning av Fiberpac producerade buntar (Andersson & Nordén 1999).

Flyttkostnader

Frohm (1988) anger att en flytt på 20 km tar 2,67 timmar för en tvågrepps-skördare. Berg (1977) anger att 2,55 timmar åtgår för 20 kilometers flyttning av en skotare. I denna analys antas att en genomsnittlig flytt tar 2,5 timmar per maskin och är 20 km lång.

Ett problem är att kalkyler ofta överskattar kostnaderna för flyttning jämfört med praktikens ersättningsnivåer som i regel är ett förhandlingsresultat. Kalkylerad flyttkostnad innebär därför en risk för en alltför positiv bedömning av system integrerad skörd jämfört med flis- och buntsystemen. För att få en rättvis bedömning av flyttkostnaden genomfördes en marknadsundersökning. Resultatet visade att ersättningen i mellersta och södra Sverige varierade från 25 kr/km, via kostnad för lön och drivmedel under tiden för flyttning, till fast ersättning med 4 000 kr per flytt och maskinlag (skördare, skotare, arbetskoja). Detta kan jämföras med Frohm (1988) som fann att det kostade ca 950 kr/flytt för en skotare och ca 1 900 kr/flytt för en tvågrepps-skördare när hyggestorleken varierade mellan 0,5 – 3,0 ha.

Enligt marknadsundersökningen varierar kostnaden för en 2,5 timmars flytt över 20 km från ca 300 kr upp till 1 300–2 000 kr (fast ers. 4 000 kr/flytt). I denna analys antas en ersättning på 500 kr/flytt och maskin.

I Brunberg m.fl. (1998) typbestånd tas 182,5 m³s skogsbränsle per ha ut. I kalkylen räknar vi med ett genomsnittligt hygge på 2,5 hektar, motsvarande medelhyggets areal i Götaland (Anon. 1998). Detta ger sammantaget en flyttkostnad på 1,1 kr/m³s och maskin.

Beståndsförutsättningar och prestation

I denna analys används SkogForsks program Utbyte (Arlinger m.fl. 1997) för att beräkna mängden skogsbränsle vid stamvolymerna 0,21, 0,42 och 0,84 m³fub, för tall och gran. En jämförelse och en nivåläggning (normering) görs med hjälp av Brunberg m.fl. (1998) typbestånd (tabell 2), som får representera normalbeståndet och nivån på den normala mängden skogsbränsle.

En engreppsskördares arbete kan beskrivas i en arbetscykel uppdelad i ett antal moment, t.ex. kran ut, omtag, fällning, kvistning-kapning, start/väntan,

körning, halt, övrigt arbete och störning (t.ex. Glöde 1999). Alla moment i arbetscykeln kan påverkas vid integrerad skörd, men troligen är påverkan störst på de moment som är kopplade till trädets tillredning. Analysen begränsas därför till de moment som har med kranarbete att göra. För att beräkna utrymmet för komprimering i tid per träd används Brunbergs (1995) tidsfunktion för momenten kran ut, fällning, kvistning-kapning och kran in:

$$T = 56 \times VUB + 27,3$$

där T = tidsåtgången i cmin/träd och VUB = stamvolym i m^3 fub.

Vidare används Brunbergs (1995) grundprestation i träd/ G_{15} -h utan korrekationer vid medelstamvolymerna 0,20, 0,40 och 0,80. Resultatet (92, 73 respektive 51 träd/ G_{15} -h) utgör en övre gräns av skördarens prestation eftersom grundprestationen är beräknad utifrån studiematerial och för att merparten av bestånden i praktiken behöver korrigeras för de av Brunberg (1995) angivna faktorerna stamantal/ha, dubbelsågning, ansättningshinder och svåra träd.

Investeringskalkyl

Kostnadsutrymmet för investering i ett komprimeringsaggregat till GROT- och gagnvirkesskördaren i system integrerad skörd beräknades enligt följande förutsättningar: 7 % ränta, 6 års avskrivning 0 kr i restvärde, amorteringsfaktor 0,2098, försäkring motsvarande 0,3 % av investeringen, 150 kr/ G_{15} -h i olja och dieselförbrukning samt reparation och underhåll motsvarande 50 % av investeringen avskrivet på 6 år.

Resultat

Utrymme för integrerad skörd

I tabell 4 jämförs kostnaderna för integrerad skörd med flis- och buntsystemen.

Tabell 4.

Bränslekostnad per operation för flissystemet (FS) enligt Brunberg m.fl. (1998) och för buntsystemet (BS) enligt Andersson & Nordén (1999) samt för system integrerad skörd (IS) från skog till förbrukare, kr/m³s. De poster som inte skattas markeras (x) och representerar utrymmet för integrerad skörd.

Operation	FS	BS	IS
Flytt ^a	2,2	2,2	X
Fördyrad avverkning	1	1	X
Komprimering	–	23,5	X
Skotning	22	8,5	8,5
Täckning papp	3	1,5	1,5
Lagring	2	3	3
Flisning avlägg	35	–	–
Arbetsledning, adm.	5	5	3
Ersättning markägare	10	10	10
S:a kostnad före transport	78	52,5	Σx + 26
Transport 60 km	19	15	15
Adm., vinst och risk	10	10	10
Sönderdelning	–	10	10
S:a kostnad fritt förbrukare	109,2	89,7	Σx + 61

^aAvser flytt av maskiner utöver skördare och skotare för ordinarie avverkning

Utifrån tabell 4 kan utrymmet för integrerad skörd, inklusive fördyrad avverkning, skattas till **28,7 kr/m³s** gentemot **buntsystemet** och till **48,2 kr/m³s** gentemot **flissystemet**.

Utrymmet räknat på avverkningskostnaden för gagnvirket

Utrymmet för integrerad skörd bör ställas i relation till kostnaden för att avverka gagnvirket, eftersom avverkningen är integrerad med produktionen av buntarna. Genom Brunberg m.fl. (1998) typbestånd, prestationer och maskinkostnader kan vi överföra utrymmet per m³s flis till ett utrymme per m³fub gagnvirke (tabell 5).

Tabell 5.

Utrymmet för integrerad skörd (IS) gentemot flis- (FS) och buntsystemet (BS) räknat per hektar och per m³ gagnvirke.

	FS	BS
Utrymme för IS, kr/ha	8 796	5 238
Utrymme för IS, kr/m ³ fub	39,3	23,4

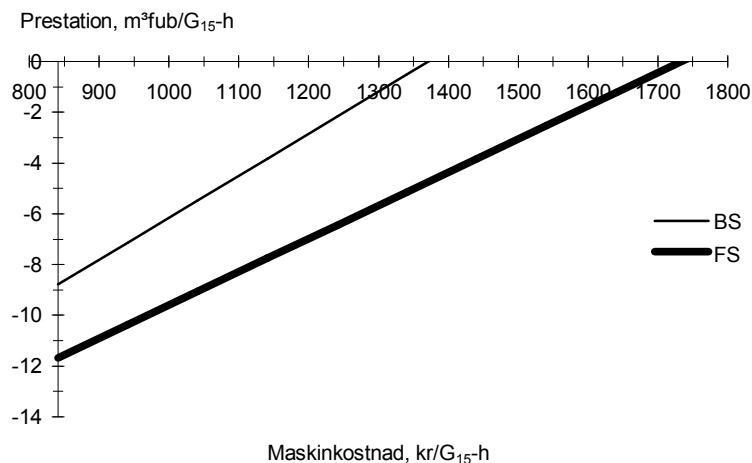
Utrymmet för fördyrad avverkning, vid oförändrad systemkostnad, uppgår således till 23,4 – 39,3 kr/m³fub om kostnaden för skotning av rundvirket är oförändrad, vilket antas här. Vid oförändrade nettointäkter kan kostnaden för

den integrerade avverkningen av typbeståndet stiga från 37,7 kr/m³fub till 60,4 – 76,4 kr/m³fub jämfört med systemkostnaden för konventionellt rundvirkesuttag följt av bränsleuttag med bunt- respektive flissystemet.

Utrymmet i maskinkostnad och prestation vid gagnvirkesskörden

Utrymmet för fördyrad avverkning kan räknas om till ett utrymme i maskinkostnad och prestation gällande i Brunberg m.fl. (1998) typbestånd.

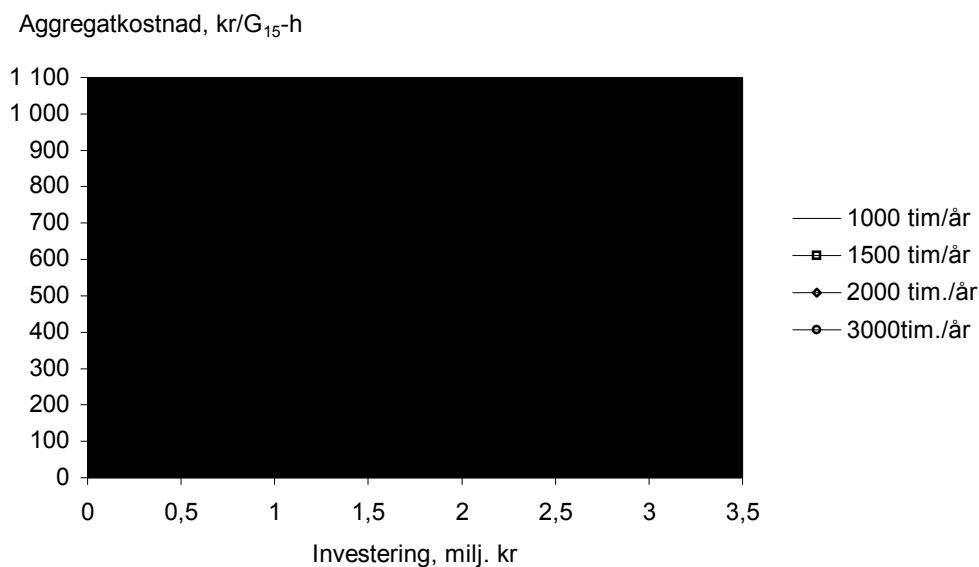
Om prestationen är oförändrad kan maskinkostnaden öka från 841 kr/G₁₅-h till **1 373 – 1 733 kr/G₁₅-h** jämfört med bunt- respektive flissystemet (figur 1). Om maskinkostnaden däremot är oförändrad kan prestationen sänkas med **8,8 – 11,7 m³fub/G₁₅-h** från ursprungliga 22,3 m³fub/G₁₅-h, jämfört med bunt- respektive flissystemet (figur 1).



Figur 1.

Utrymmet för integrerad skörd av typbeståndet jämfört med flis- (FS) respektive buntsystemet (BS), visat som relationen mellan ökad maskinkostnad och sänkt prestation på gagnvirkesskörden. Relationen förutsätter oförändrade nettointäkter och en fördyrad avverkning vid integrerad skörd upp till en systemkostnad i nivå med separat skörd av gagnvirke och GROT enligt FS respektive BS.

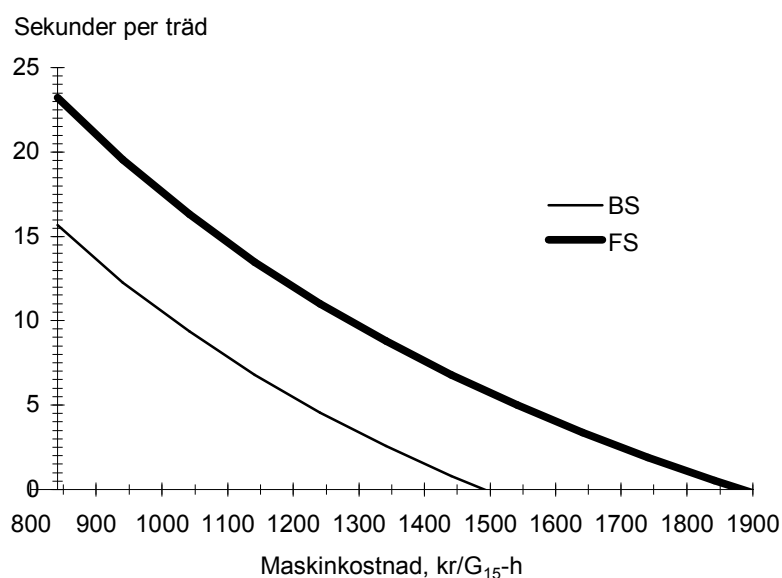
En enkel maskinkostnads kalkyl ger en uppfattning om investeringsutrymmet för en GROT & gagnvirkesskördare (figur 2).



Figur 2.
 Kostnadsutrymme för ett komprimeringsaggregat på en GROT & Gagnvirkes-skördare vid fyra olika nivåer på det årliga antalet utnyttjade timmar för GROT-buntsproduktion (G_{15} -h per år).

Utrymmet räknat i sekunder per träd

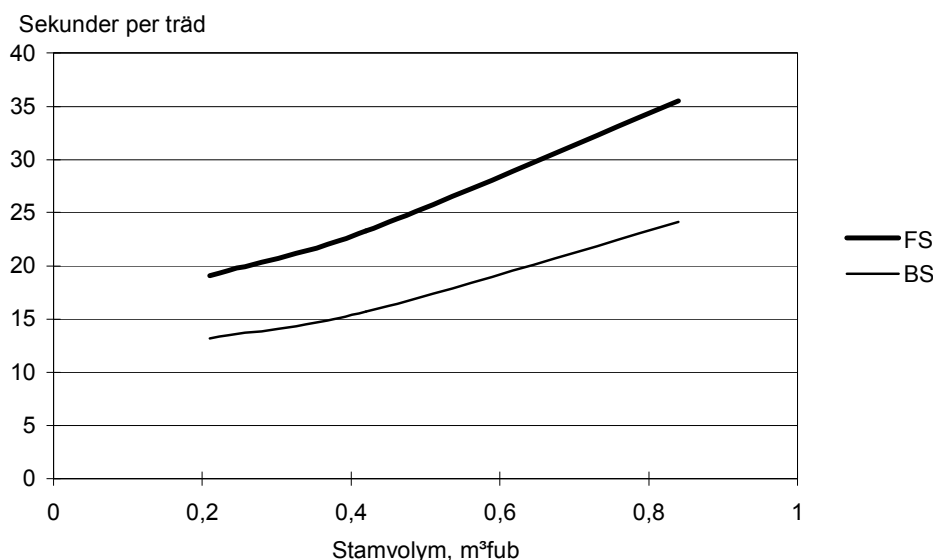
Det utrymme för integrerad skörd i typbeståndet som visas i figur 1 kan räknas om till sekunder per träd m.h.a. Brunbergs (1995) underlag för produktionsnorm (figur 3). Observera att funktionen då blir krökt eftersom prestandafunktionen är det. Detta medför att kurvorna skär x-axeln vid högre värden än i figur 1.



Figur 3.
 Utrymmet för integrerad skörd av typbeståndet jämfört med flis- (FS) respektive buntsystemet (BS) visat som relationen mellan ökad maskinkostnad och ökad tidsåtgång per träd (sänkt prestation) vid gagnvirkesskörden. Relationen förutsätter oförändrade nettointäkter och en fördyrad avverkning vid integrerad skörd upp till en systemkostnad i nivå med separat skörd av gagnvirke och GROT enligt FS respektive BS.

Det prestationsmässiga utrymmet ($8,8 - 11,7 \text{ m}^3\text{fub}/\text{G}_{15}\text{-h}$), vid oförändrad maskinkostnad ($841 \text{ kr}/\text{G}_{15}\text{-h}$) kan räknas om till sekunder per träd (figur 4). Ökar maskinkostnaden minskar utrymmet proportionellt nedåt och försvinner helt vid $1\,373$ respektive $1\,733 \text{ kr}/\text{G}_{15}\text{-h}$ för bunt- respektive flissystemet.

Utrymme för komprimering vid oförändrad maskinkostnad



Figur 4. Utrymme för integrerad skörd ($8,8-11,7 \text{ m}^3\text{fub}/\text{G}_{15}\text{-h}$), vid oförändrad maskinkostnad ($841 \text{ kr}/\text{G}_{15}\text{-h}$), jämfört med flis- (FS) respektive buntsystemet (BS) och omräknat till sekunder per träd för flis- (FS) och buntsystemet, m.h.a. Brunbergs (1995) produktionsnorm

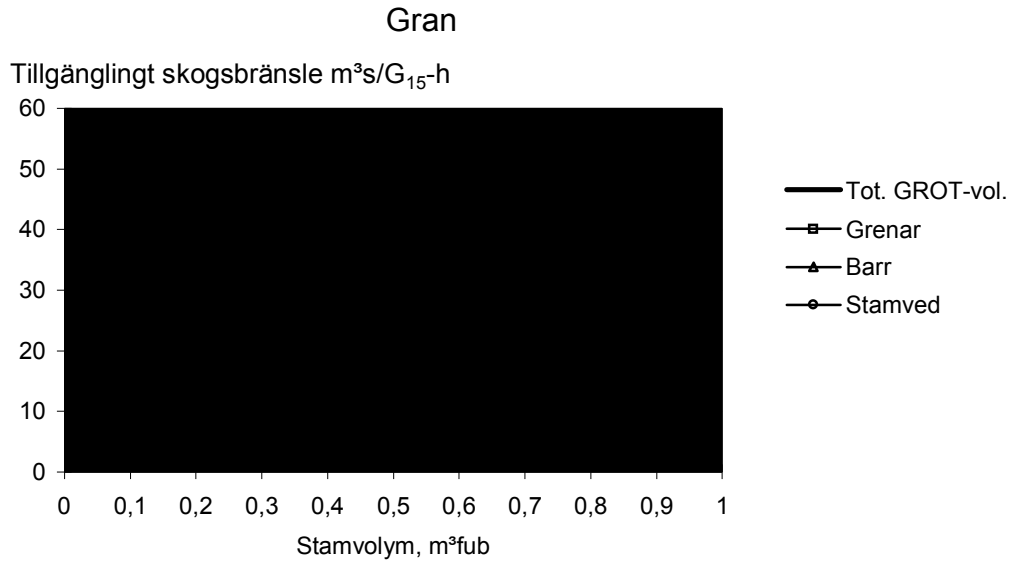
Maximal produktion av buntar i typbeståndet

Enligt förutsättningarna i tabell 2 och 3 tar det $10,3 \text{ G}_{15}\text{-h}/\text{ha}$ att avverka typbeståndet. Under den tiden faller GROT motsvarande $182,5 \text{ m}^3\text{s}$ plus den avbarrning (50 %) och det spill av grenar (10 %) som antagits ske efter lagring på hygget och ihopskotning (Brunberg m.fl. 1998). Barr och grenar kan vid integrerad skörd tas om hand till 100 %. Enligt programmet Utbyte (Arlinger m.fl. 1997) skulle det, om hela volymen skördas typbeståndet (tabell 2), falla GROT motsvarande $235,5 \text{ m}^3\text{s}$ ($80 \text{ m}^3\text{s}$ barr, $135 \text{ m}^3\text{s}$ grenar och $21 \text{ m}^3\text{s}$ stamved). Vid oförändrad prestation på skördaren innebär det att maximalt $168,2 \text{ GROT}$ -buntar per ha kan produceras. Maximal produktion blir då **16,5 buntar/ $\text{G}_{15}\text{-h}$** .

Känslighetsanalys

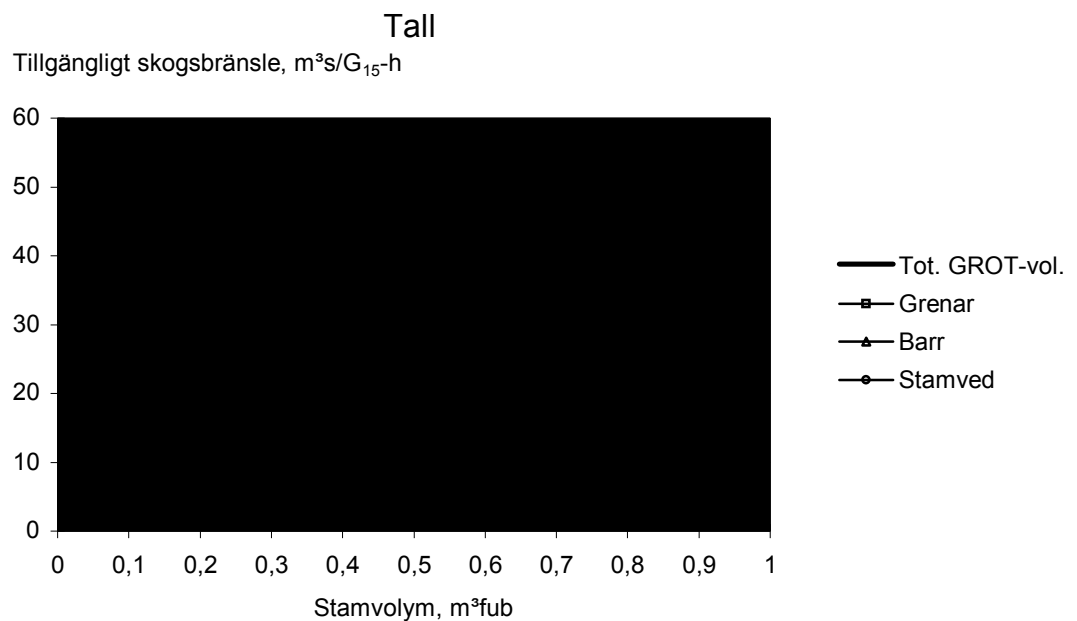
När man läser figur 5–8 bör man tänka på att antalet stammar, medelstamvolym och volymen GROT per hektar samvarierar. Vidare att det finns en spridning i stamvolym, och därmed mängd tillgänglig GROT, runt de fixerade värdena på stamvolymerna.

Prestationen sett som potentiellt (maximalt) tillgänglig, eller fallande, mängd skogsbränsle per timme maskinen arbetar avtar relativt snabbt vid stamvolymmer under $0,4 \text{ m}^3\text{fub}$ (figur 5).



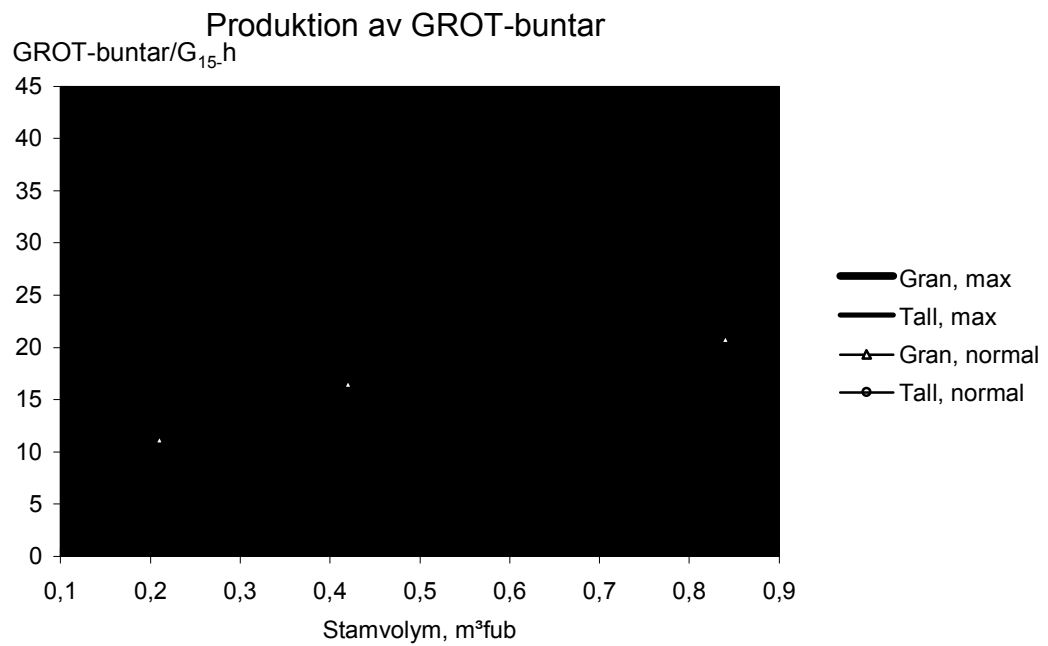
Figur 5.
 Stamvolymens inverkan på mängden tillgängligt, d.v.s. volymen fallande, skogsbränsle, totalt och uppdelat i barr, grenar och stamved, i ett granbestånd.

Prestationen sett som mängden tillgängligt, d.v.s. volymen fallande, skogsbränsle per maskintimme är betydligt mindre i tall- än i granbestånd (figur 6).



Figur 6.
 Stamvolymens inverkan på mängden tillgängligt, d.v.s. volymen fallande, skogsbränsle, totalt och uppdelat i barr, grenar och stamved, i ett tallbestånd.

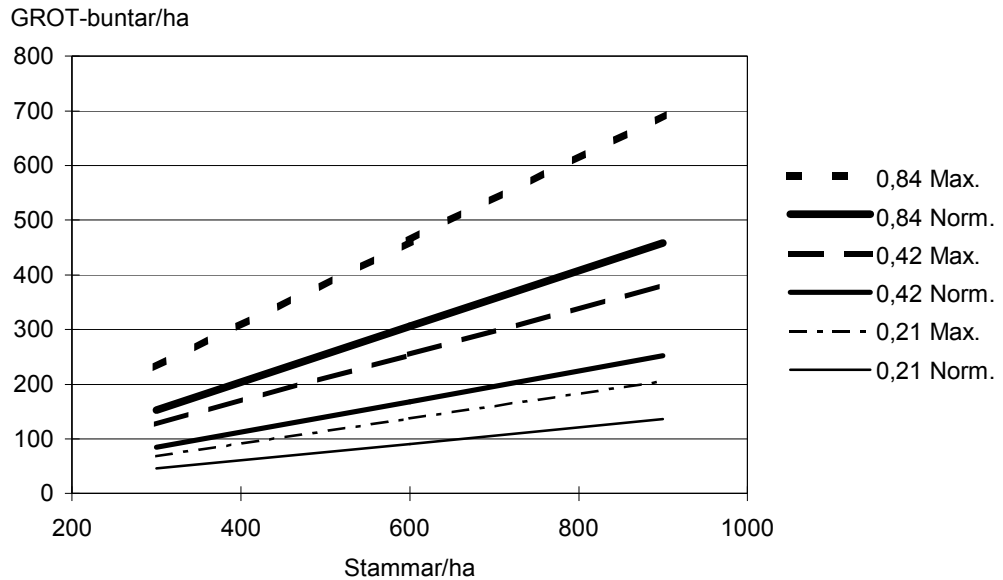
Mängden tillgängligt skogsbränsle begränsar, kanske i högre grad än det tänkta komprimeringsaggregatets tekniska prestanda, prestationen både i gran- och i tallbestånd (figur 7).



Figur 7.
Stamvolymens inverkan på maximal och normal produktion av GROT-buntar (normerad efter typbeståndet i tabell 2) i ett gran- och ett tallbestånd.

Ett normalt slutavverkningsbestånd innehåller ofta 600–800 stammar /ha. Vid en stamvolym på 0,4 respektive 0,8 m³fub innebär det, i det normerade s.k. normalfallet, en möjlig produktion av ca 150 respektive 400 GROT-buntar per ha (figur 8).

Antal GROT-buntar/ha vid olika stamantal och stamvolym



Figur 8.
Stamantalets inverkan på maximal och normal produktion av GROT-buntar (normerad efter typbeståndet i tabell 2) vid tre olika stamvolymmer (m³fub) i ett gran- och ett tallbestånd.

Diskussion

Analysen tyder på att det finns ett ekonomiskt utrymme för konceptet integrerad skörd jämfört med dagens bunt- och flissystem. Om rundvirkesskörden inte påverkas, genom t.ex. sänkt prestation, kan ett komprimeringsaggregat för integrerad produktion av GROT-buntar öka skördarens timkostnad med ca 500 respektive ca 900 kr/G₁₅-h, vid en stamvolym på 0,4 m³fub. Det kan jämföras med Andersson & Nordéns (1999) kalkyl där en investeringskostnad på ca 3,2 miljoner kr för en buntskördare (Fiberpacaggregat plus skotare), ger en timkostnad på 735 kr/G₁₅-h (1 428 utnyttjade tim./år).

Men det är inte särskilt troligt att skördarens prestation förblir helt opåverkad. Åtminstone inte i ett inledande skede när en ny arbetsteknik för avverkningen tränas in samtidigt som komprimeringsaggregatet trimmas för drift. Analysen visar att om prestationen på rundvirkesskördaren sänks med t.ex. 8 % eller 18 %, motsvarande 3 eller 6 sekunders ökad tidsåtgång per träd, får komprimeringsaggregatet öka maskinkostnaden med ca 400 respektive ca 300 kr/G₁₅-h jämfört med buntsystemet. Vid 1 500 utnyttjade timmar per år motsvarar det en investering på ca 1 till 1,5 miljoner kr.

Påverkas prestationen mindre ökar investeringsutrymmet eller möjligheten att sänka systemkostnaden. Om skördarens prestation trots allt inte påverkas kan systemkostnaden, vid 300–400 kr/G₁₅-h i kostnadsökning, sänkas med 4 till 20 kr/m³s jämfört med buntsystemet. Det motsvarar en bränslekostnad fritt industri på 69,7 till 85,7 kr/m³s vid 6 mils transportavstånd, vilket i sin tur motsvarar en sänkning på 22 till 36 % av systemkostnaden jämfört med flissystemet.

Det är svårt att precisera hur maskinkostnaden påverkas, men sannolikt ökar posterna reparation och underhåll samt bränsle och olja. Det är också troligt att den tekniska utnyttjandegraden (TU) sänks något, åtminstone inledningsvis. Kalkylen i figur 2 samt jämförelsen med Andersson & Nordéns (1999) kalkyler tyder på att en kostnad för komprimeringsaggregatet på 1 till 1,5 miljoner kr inte är orälistisk, även om skördarens prestation sänks med 8 till 18 %. Sedan är frågan om den summan räcker för att konstruera ett komprimeringsaggregat.

Det är viktigt att observera att analysen bygger på ett break-even resonemang. Det vill säga om de redovisade utrymmena tas i anspråk kommer kostnaden för den integrerade skörden att vara lika stor som jämförelseobjekten flis- respektive buntsystemet. Om skördarens prestation sänks med 8 % eller 18 % och maskinkostnaden ökar med 400 respektive 300 kr/G₁₅-h är kostnaden för bränslet densamma som för buntsystemet i dag (men är betydligt lägre än för flissystemet). Om skördarens prestation däremot inte påverkas kan systemkostnaden sänkas med 150 000 till 900 000 kr per år motsvarande de 4 till 20 kr/m³s jämfört med buntsystemet (1 500 tim./år, 20 buntar/G₁₅-h, medelstamsvolym 0,4 m³fub).

En analys av detta slag ger resultat i form av grova siffror och spännvidden i de diskuterade intervallen är stor. Analysen bör ses som en första test av en idé för att sänka systemkostnaden vid uttag av rundvirke och skogsbränsle. Siff-

rorna bygger dock på antaganden utifrån etablerade studier och borde därför vara relativt stabila. Analysen bygger på Brunberg m.fl. (1998) typbestånd där 182,5 m³s/ha tas ut vilket överensstämmer med det genomsnittliga uttag på 175 m³s/ha i södra Sverige som Filipsson (1998) anger. Typbeståndet får bedömas som representativt, även om många granbestånd i södra Sverige innehåller större virkesvolym per hektar.

Prestationskalkylerna baseras på Brunbergs (1995) produktionsnorm utan normering eller restriktioner. Bara grundprestationer och rena trädslag har använts för att hålla analysen fri från subjektiva inslag så långt som möjligt, för att i slutfasen ange restriktioner och utrymmen. Osäkerheten i konceptet torde till större del ligga i de siffror och faktorer som inte är med i analysen men som dyker upp vid konstruktion och drift av en GROT & gagnvirkeskördare. Exempelvis hur engreppsskördarens TU, vikt, rep. och underhåll, olje- och bränsleförbrukning, balans, ergonomi, hydraulik, m.m. påverkas? Om man klarar av att konstruera ett integrerat komprimeringsaggregat som är litet, lätt och driftpålitligt?

Analysen tyder på att prestationskraven på ett komprimeringsaggregat för integrerad skörd är relativt modesta, 15 till 20 buntar per G₁₅-h (figur 7) är möjligt att uppnå redan i dag med maskiner av typen Fiberpac och Woodpack. Å andra sidan är de 15 till 20 buntarna antagligen maximal prestation i många bestånd p.g.a. att det inte faller mer GROT per G₁₅-h.

En fördel med ett integrerat komprimeringsaggregat är att det finns möjlighet för ett högt antal utnyttjade timmar per år. Skörd kan bedrivas året runt, vilket ger stor frihet att välja om man vill skörda GROT eller ej, både per bestånd och inom bestånd. I en valsituation framstår granbestånd, gärna grova, som fördelaktigare än tallbestånd p.g.a. den högre volymen skogsbränsle. Men samtidigt medför den sannolikt högre timkostnaden för den integrerade skördaren att det finns ett minsta antal utnyttjade timmar per år som komprimeringsaggregatet måste arbeta för att uppnå lönsamhet, vilket begränsar valfriheten.

Konceptet bygger på att man kan tillgodogöra sig rationaliseringsvinster genom att ta ut fårska avverkningsrester s.k. grön GROT. En förutsättning är att detta är acceptabelt och uthålligt från miljö- och skogsproduktionssynpunkt. Dessa faktorer kan medföra restriktioner på uttagen volym både areellt och volymmässigt, sett på objektsnivå. Det vill säga, man kanske bara tar ut 50, 60 eller 70 % av volymen GROT i ett visst mönster över hygget. Det kan också innebära att man måste eller bör återföra näringsämnen i form av aska och kväve. En annan förutsättning är att det finns en marknad för grön GROT, med relativt hög fukthalt, eller att man kan lagra och torka balarna. Moderna förbränningsanläggningar kan konstrueras för bränsle med en fukthalt på 50–55 % med relativt god verkningsgrad, bl.a. tack vare rökgaskondensering. Andelen finfraktion lär öka, vilket kan orsaka problem i de pannor som inte är konstruerade för denna typ av bränsle. Å andra sidan kommer det integrerade GROT-buntarna att vara ett homogentare bränsle, vilket är en pann- och förbränningsteknisk fördel. Dessutom kommer det att vara betydligt renare från föroreningar i form av grus sten, m.m., eftersom det inte mellanlagras i lös form på marken.

I material och metoder nämndes en rationaliseringspotential i buntsystemet. Om en maskin av typen Fiberpac eller Woodpack, skulle arbeta direkt efter en skördare och skotning av GROT-buntar och rundvirke skulle göras av samma maskin skulle en flytt av en skotare sparas in. Detta arbetssätt bedömdes som svårt att få att fungera logistiskt och lämnades utan hänsyn. Det kan konstateras att rationaliseringspotentialen enligt denna analys uppgår till flyttkostnaden, ca. 1,1 kr/m³s, och således inte påverkar analysens slutsatser.

Analysen har gjorts med utgångspunkt från en engreppsskördare eftersom detta är den dominerande maskintypen i Svenskt skogsbruk. Tvågreppsskördaren har slutat att tillverkas av de större maskinföretagen. Antagligen skulle dock ett maskinkoncept som GROT och gagnvirkesskördaren vara lättare att anpassa till en tvågreppsskördare som faller (fällhuvud i kranspetsen) och lyfter upp träden till en separat upparbetningsenhet på maskinen.

Avslutningsvis kan noteras att det finns fördelar med det integrerade systemet som inte är innefattade i denna analys. Till dessa kan räknas kortare ledtider mellan produktion och förbrukning. Normalt föreligger en tidsförskjutning på ett halvt till ett år mellan avverkning av beståndet och leverans av bränslet till slutförbrukare. Detta gör det svårt att anpassa produktionen till efterfrågan, vilken kan variera beroende på årsmån (medeltemperatur) och tillgång till alternativa bränslen. Detta medför också en lageruppbyggnad som kostar i form av ränta och inkurans. Det integrerade systemet innebär att man i förlängningen producerar mot efterfrågan innevarande år och kan öka och minska produktionen beroende på efterfrågan.

Slutsatser

Kostnaderna för skogsbränslet kan sänkas genom att utveckla en grot & gagnvirkesskördare genom att införa system integrerad skörd.

Om skördarens prestation, med avseende på rundvirkesskörden, inte påverkas kan systemkostnaden sänkas med 4 till 20 kr/m³s jämfört med buntsystemet vid 1 500 utnyttjade timmar per år och en investering på ca 1 till 1,5 miljoner kr. Det motsvarar en bränslekostnad fritt industri på 69,7 till 85,7 kr/m³s vid 6 mils transportavstånd eller en sänkning på 22 till 36 % av systemkostnaden jämfört med flissystemet.

Referenser

- Anon 1998. Rekommendationer vid uttag av skogsbränsle och kompensationsgödsling, 1998-11-16. Nr. 531/98 0.09. 6 s. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- Anon. 1996. Skogsstatistisk årsbok 1996. Sveriges officiella statistik. Skogsstyrelsen. Jönköping. Sweden. ISSN 0491-7847.
- Anon. 1997. Energy in Sweden. Info 438-97. NUTEK. Stockholm. SWEDEN.
- Andersson, G. & Nordén, B. 1999. Fiberpac 370 – en systemstudie. SkogForsk Arbetsrapport.....
- Andersson, G. & Nordén, B. 1996. Balning av trädrester – en systemanalys. SkogForsk. Stencil 1996-06-20.
- Arlinger, J., Brunberg, B., Nordén, B. & Thor, M. 1997. Utbyte och Kalkyl – Windowsprogram för utbytes- och systemanalyser. SkogForsk. Resultat nr 9, 1997.
- Berg, S. 1977. Flyttningar vid markberedning. Skogsarbeten. Redogörelse nr 6 1977.
- Brunberg, B. Andersson, G. Nordén, B. Thor, M. 1998. Uppdragsprojekt Skogsbränsle – slutrapport. SkogForsk Redogörelse, nr 6. Uppsala, Sweden. ISSN 1103-4508.
- Brunberg, B. & Nordén, B. 1994. Balning av trädrester – en teoretisk utvärdering av Bala Industriets utrustning på uppdrag av Skaraborgs skogsägare och Trädenergi Väst AB. SkogForsk. Stencil 1994-05-14.
- Brunberg, T. 1995. Underlag för produktionsnorm för stora engreppsskördare i slutavverkning. SkogForsk. Redogörelse nr 7, 1995.
- Filipsson, J. 1998. Trädbränsle – en kartläggning av produktion, metoder och förbrukning. SkogForsk. Arbetsrapport Nr 403.
- Frohm, S. 1988. Objektstorlekens inverkan på kostnaderna för drivning och markberedning. Skogsarbeten. Stencil. 1988.
- Glöde, D. 1999. Single- and Double-Grip Harvester – Productive measurements in final cutting of shelterwood. Journal of Forest Engineering 10(2):63-74.
- von Hofsten, H. & Nordén, B. 1997. Bränsleanpassad slutavverkning med engreppsskördare. SkogForsk. Stencil 1997-04-09.
- Hörnlund, T. 1996. Studie av en skördares produktion vid avverkning med grotsortiment i Västerbotten – utförd hos AssiDomän sommaren 1996. Sveriges Lantbruksuniversitet, Norra skogsinstitutet. Examensarbete.
- Thor, M. & Nordén, B. 1997. Bränsleanpassad slutavverkning – studier av avverkning, rundvirkesskotning och bränsleskotning hos SCA Skog AB. SkogForsk. Stencil 1997-09-22.